

パルス循環法による超音波計測の研究 (第2報)

— 音響管の特性とその応用 —

石田 美雄^{*}・原田 義文^{**}

Studies on the Ultrasonic Measurement by Means of the Sing-Around Method (II)

— On the Characteristics and Applications of the Sound Tube —

Yoshio ISHIDA, Yoshifumi HARADA

(Received 31 March 1965)

In order to perform the measurement by Sing-around method successfully, the new type of sound tube made of brass pipes has been designed and tested, which has crystal transducers on its both ends and can hold sample liquid in it. The way to determine the path length l of the tube and the time delay t_d of the external circuit was established. Using the above tube, the relation between sound velocity and concentration of the dilute solution of electrolytes was measured. Some anomaly was found concerning KCl-solution. In order to use the apparatus as a sound thermometer, we determined the thermal transient characteristics of the tube.

1 緒 言

第1報¹⁾ではパルス循環法による液体中の超音波速度測定装置の試作の経過とその特性一般について報告した。今回は継続して電気音響変換素子を持ち、かつ、試料を入れる容器である音響管の特性およびこれを用いて行なった二、三の実験について報告する。パルス循環法 (Sing-around Method) による音速測定法は原理的に測定精度が高く、かつ計測時間が、極めて短く、また連続測定が可能であるため、系の微少な状態変化の追跡には有効な方法と考えられている。われわれはこの測定法を音響濃度計および音響温度計として利用することを目的として研究を進めた。まず、電気音響変換素子と試料槽を結合して一体とした測定用音響管の試作とその特性を定める実験を行なった。ついで、この音響管を用いて NaCl および KCl の希薄水溶液について、その濃度と音速との関係を求めた。さらに温度計として利用する場合の基礎実験として測温部としての音響管の熱的な過渡応答を求め、温度時定数と伝達関数を近似的に決定した。

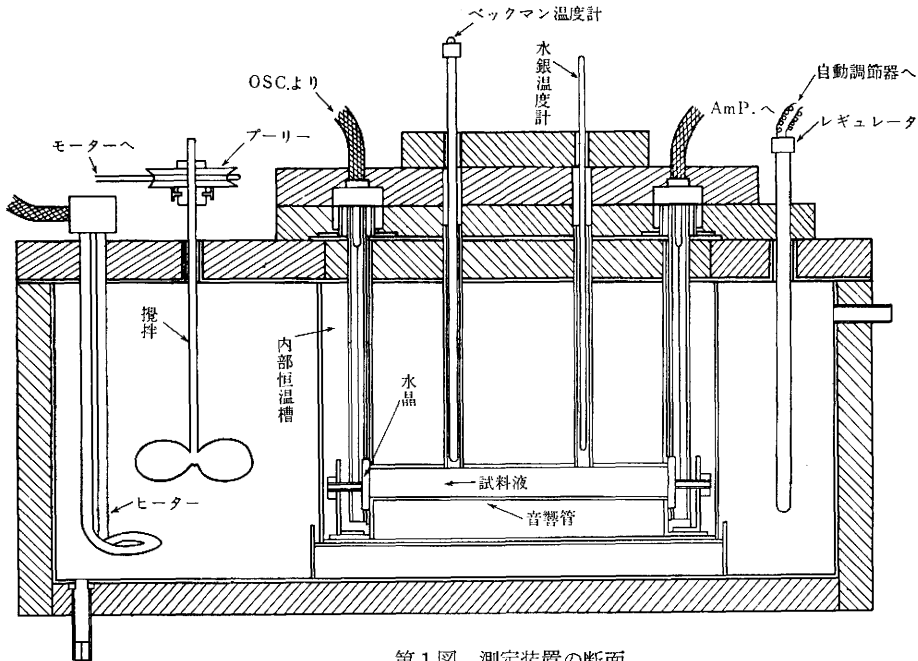
2 測定部の構成と特性

2・1 恒温槽と測定部

精密測定には水の音速は温度によって大きく変化するために、安定な恒温槽が要求される。その断面を第1図に示す。外部液槽の周囲に断熱材として厚さ20mmのポリスチレンをはり、さらに内部恒温槽をもうけ、その中に電氣的絶縁性の良い流動パラフィンを入れ、その内部に音響管を取付けた。

音響管は、長さ142mm、内径25mm、肉厚1mmの黄銅管であって、試料液の注入と温度測定のため高さ39mm、内径11mm、肉厚1mmの黄銅パイプをガイドとした。管の両端には1Mcの

^{*}教授 ^{**}助手



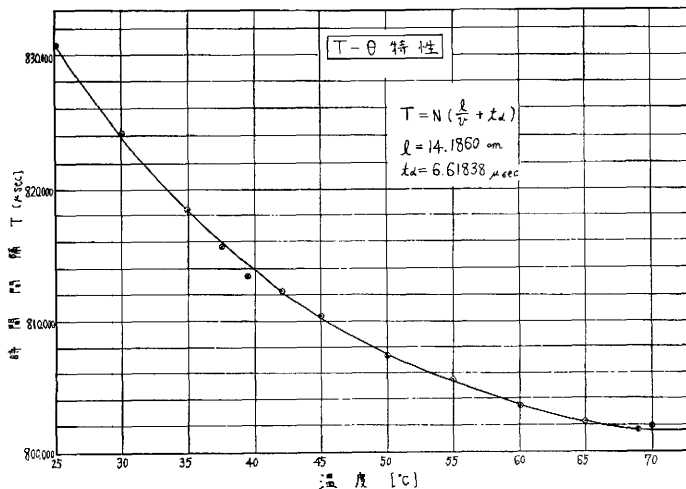
第1図 測定装置の断面

水晶板が接着剤で貼付してあり、この全体を小型槽の中に挿入する。

2・2 音響管の音路長と外部回路による時間遅れの決定

測定の基本式は第1報に述べたように

$$T = N(l/v + t_d) \quad \dots\dots\dots(1)$$



第2図 T-θ特性

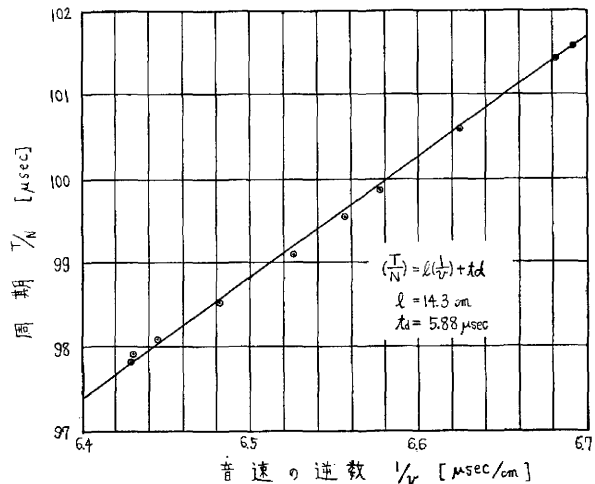
である。音響管に蒸留水を満たして温度 θ を25°Cより70°Cまでゆるやかに上昇させながら、各温度に対する T を測定した。その結果を第2図に示す。

さらに、温度 θ に対する蒸留水の音速 v を Greenspan-Tschiegg の与えた式²⁾によって計算し、 T/N と l/v の関係を図で求めると、第3図に示すように直線となった。このことは(1)式が音響管の場合にもあてはまることを示している。第3図より l 、 t_d の値を求めるとそれぞれ14.2cmおよび6.55μsec

となる。

この l の値は管の実長とよく一致するので、この方法の方が第1報で行なった方法よりも優れていることがわかった。なお、第2図中に示した l 、 t_d の値は最小自乗法を使って求めたものである。

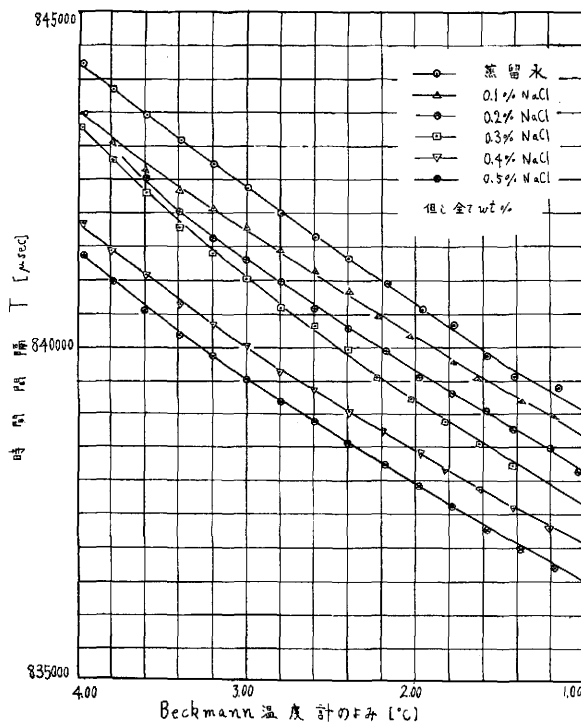
このようにして l , t_d を決定すればよいことがわかったが, t_d の方は発振器の発振周波数, 増巾器の利得調整, 帰還パルスのトリガーレベルの変化, その他の外乱によって影響される。また音響管に温度計を出し入れするとき, 不要なモードが発生し測定に苦労した。しかし上述の諸要素を一定にすれば, 不要モードの発生も測定精度に直接の影響を与えなかった。

第3図 $T/N - 1/v$ の関係

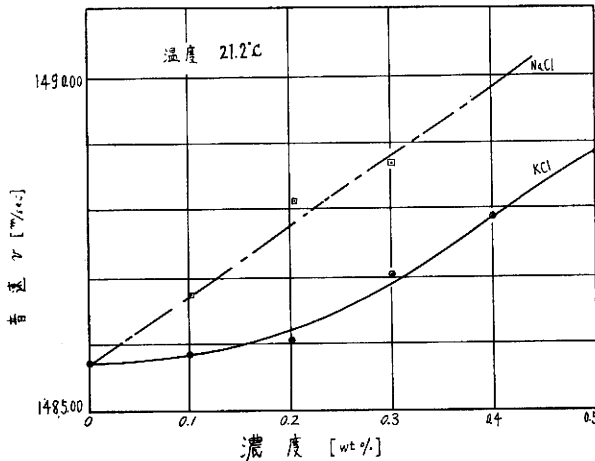
3 音 響 管 の 応 用

3.1 電解質の希薄水溶液に関する測定

希薄溶液において, 検出し得る濃度の限界を求めるために, まず代表的なものとして NaCl の希薄水溶液について測定を行なった。NaCl の 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5wt% の水溶液および蒸留水について, その温度を $17^{\circ}\text{C} \sim 21^{\circ}\text{C}$ の範囲でゆるやかに変化しつつ対応する T を読んだ結果を第4

第4図 NaCl 希薄水溶液の $T-\theta$ 特性

図に示す。この図の横軸は Beckmann の温度計のよみで右の方が高温である。図の左の部分で曲線の距離に不齊があるのは測温系の温度時定数の影響であり, 右の部分ではある一定時間が経過するのでこの影響はなくなっている。曲線群のこの辺—温度 21.2°C —の値から, 濃度に対する水溶液の音速を求め, それを図示すると第5図の破線となる。すなわち, NaCl の水溶液においては音速は濃度に比例する。この結果は従来のもっと高い濃度における測定結果³⁾と一致するものである。KCl の水溶液についても同様な実験を行なった結果は第5図の実線で示されている通りである。すなわち, KCl の希薄水溶液においては, 濃度 $0 \sim 0.2\text{wt}\%$ の範囲では音速はほとんど変化せず, それ以上の濃度で直



第5図 希薄水溶液の音速と濃度

用するとき、音響管が直接测温部となっているため、その温度時定数が問題になる。音響管の温度を θ とし、これを急に θ_2 なる温度の恒温槽の中に入れる。音響管の熱伝導率を ρ 、表面積を A 、熱容量を C とすると

$$\frac{C}{\rho A} \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

が成立する。 $t=0$ のとき、 $\theta=\theta_1$ として(2)式をとくと

$$\theta = \theta_1 + (\theta_2 - \theta_1) \cdot (1 - e^{-\frac{\rho A}{C} t}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

を得る。また、式(2)はこの素子が一次おくれ要素であることを示しているの、その伝達関数は

$$G(s) = \frac{1}{\frac{C}{\rho A} s + 1} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。ただし $\tau = C/\rho A$ である。

さて音響管の過渡応答を測定しその結果を示したものが第6図である。 $\varphi = \theta_2 - \theta$ とすると、第6図の曲線は

$$\varphi = (\theta_2 - \theta_1) \cdot e^{-t/\tau} \quad \dots\dots\dots(5)$$

であらわされる。またそれを片対数方眼紙に表わしたものが第7図である。後者において $\log \varphi_a - \log \varphi_b = 1$ をみたすような φ_a, φ_b をとり、それに対応する時間を t_a, t_b とすると、

$$\tau = \frac{t_b - t_a}{\log \varphi_a - \log \varphi_b} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\cdot \log e = 0.4343(t_b - t_a)$$

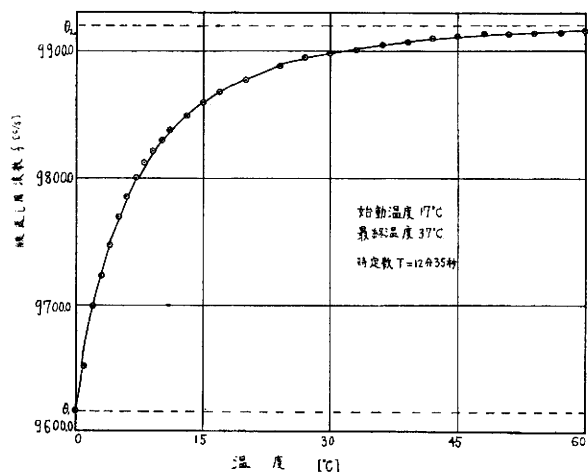
によって与えられる。これより $\tau = 12$ 分35秒を得た。

線的に変化する。濃度0～0.2wt%における異常性は従来まったく報告されていないことである。その原因は K^+ イオンの低濃度における水和の異常性に基づくものと推察されるけれども、なお詳しい研究を必要とする。

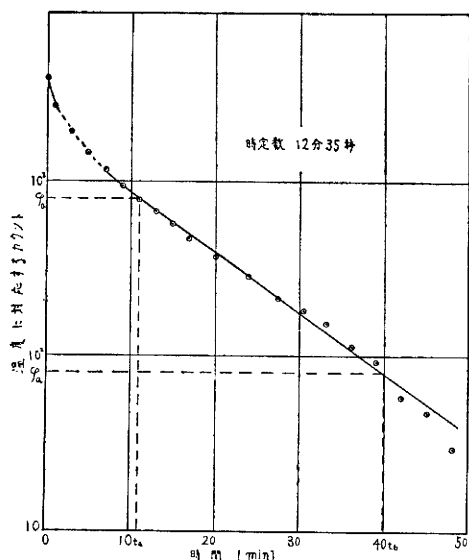
また、装置を濃度計として使用する場合、第5図よりその精度を求めると、NaCl については0.01%まで測定可能である。

3.2 音響管の過渡応答

この装置を音響式温度計として利



第6図 音響管の過渡応答—I



第7図 音響管の過渡応答—Ⅱ

なお $\theta_1=17^\circ\text{C}$, $\theta_2=37^\circ\text{C}$ に保ち恒温槽は濃度測定の場合と同じものを使用した。実際の熱伝導は近似的にむだ時間を含む一次おくれと考えられるのでその伝達関数は

$$G(s) = \frac{e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad \dots\dots\dots(7)$$

とあらわされる。 L はむだ時間であるが、この測定法では時刻 $t=0$ の近傍では合理的な値が得られなかった。この原因はパルスカウンタで測定しているため連続的な応答特性を求めることが出来なかったからである。またこの装置は原理的に平均温度を標示するため平均温度の測定には有効である。

4 結 言

第1に水晶振動子と試料槽とが一体となった音響管を試作し、その音路長 l と外部回路の時間遅れ t_d を決定する方法を確立した。その音響管を用いて NaCl および KCl の希薄水溶液の濃度と音速の関係を求めた。このような低濃度における測定は未だ行なわれていない。その結果 KCl 水溶液において一つの異常性を発見した。ついで、この装置を音響式温度計として利用するための基礎実験として音響管の温度時定数 τ を測定した。この値は今後音響管を設計するとき一つの目安を与え、かつ音響式温度計の可能性をこの実験より推定することができた。

この実験では温度測定は水銀温度計および Beckmann 温度計によったが、今後は白金抵抗測温体を用い、さらに恒温槽にはデュワ氏びんを用いて行う予定である。終りにこの実験に協力して下さった学生、森本紀男君に感謝する。またこの実験はその一部を昭和39年度文部省科学研究費によって行なったものである。

文 献

- 1) 石田美雄・原田義文：福工報，13巻 160—165（昭和40年）
- 2) M. Greenspan and C. E. Tschiegg；J. Res. Nat. Bur. Stand. **59**, 249—254（1957）
- 3) Szalay, Phys. Zeit. **35**, 639—645（1934）

（昭和40年3月31日受理）

